

Übersprechen (Crosstalk)

- Einkopplung von Energie von einer stromdurchflossenen Leitung in eine parallel dazu liegende infolge des magnetischen und des elektrischen Feldes.
- Erzeugt eine Störspannung auf der gestörten Leitung.
- Bewirkt eine Änderung des Wellenwiderstandes der Leitung und der Signalausbreitungsgeschwindigkeit.

Magnetische Einkopplung:

Eine Stromänderung in der störenden Leitung induziert infolge der Gegeninduktivität L_m in der gestörten Leitung eine Spannung

$$v = L_m * di/dt$$

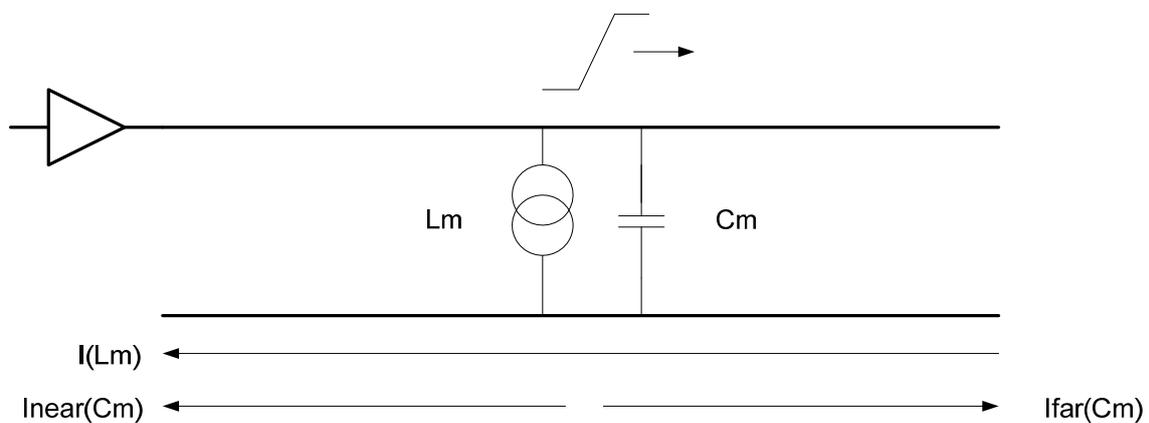
Diese Spannung treibt in der gestörten Leitung einen Strom in die dem ursächlichen Strom entgegengesetzte Richtung.

Kapazitive Einkopplung:

Eine Spannungsänderung auf der störenden Leitung bewirkt über die Koppelkapazität C_m einen Strom in die gestörte Leitung

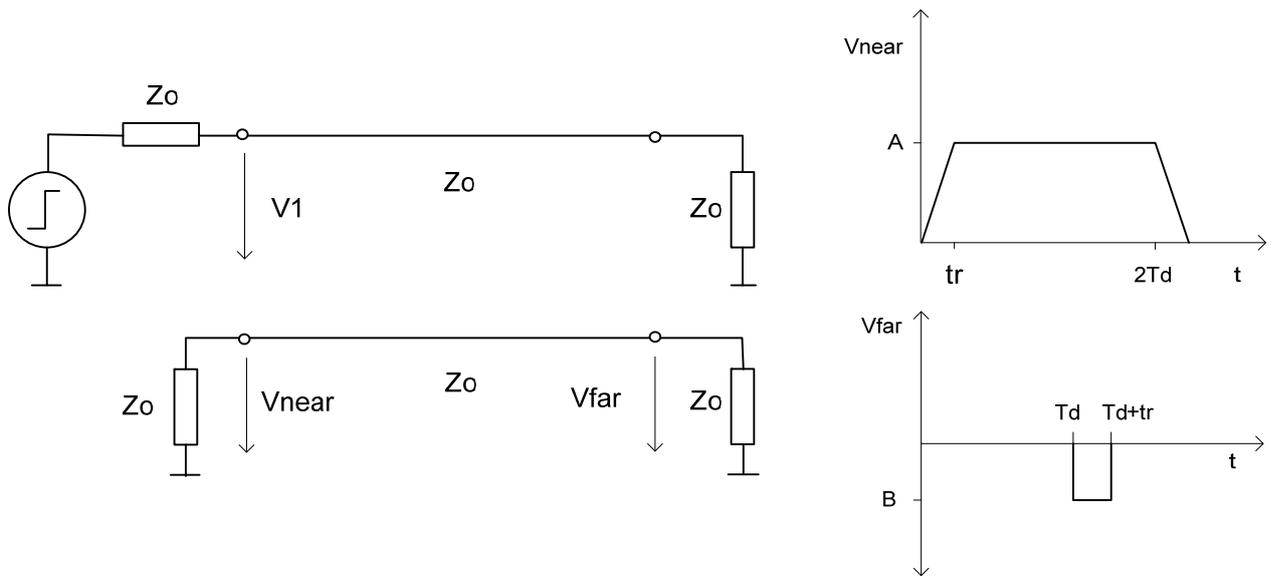
$$i = C_m * dv/dt$$

Dieser Strom teilt sich in der gestörten Leitung in zwei entgegengesetzt gerichtete Komponenten.



Wird eine Signalfanke in die störende Leitung eingespeist, läuft sie diese Leitung entlang und koppelt dabei kontinuierlich Energie in die gestörte Leitung ein. Die Störung am „near end“ beginnt daher bei $t = 0$ und hat die Dauer von $2T_d$ (T_d : Signallaufzeit entlang der Leitung). Die Störung am „far end“ tritt erst nach T_d auf und dauert t_r (Anstiegszeit der eingespeisten Flanke).

Für den Fall, dass sowohl die störende als auch die gestörte Leitung an beiden Enden abgeschlossen sind und dass die Anstiegszeit der Signalfanke kleiner als die doppelte Signallaufzeit ist, ergeben sich folgende Störspannungen:

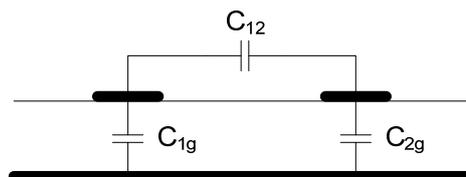


$$A = V_1/4 * (L_m/L + C_m/C) \text{ und } B = - V_1 * T_d/2t_r * (L_m/L - C_m/C)$$

Zur Charakterisierung verkoppelter Leitungen werden die Induktivitäts- und Kapazitätsbeläge oft in Matrixform dargestellt.

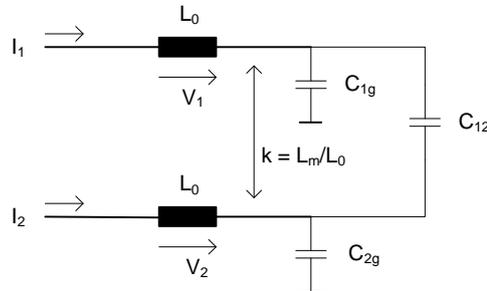
$$L\text{-Matrix} = \begin{vmatrix} L_{11} & L_{12} & \dots & L_{1N} \\ L_{21} & L_{22} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{N1} & \dots & \dots & L_{NN} \end{vmatrix} \quad C\text{-Matrix} = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1N} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{N1} & \dots & \dots & C_{NN} \end{vmatrix}$$

Dabei stellen die Elemente der Hauptdiagonale der Induktivitätsmatrix die Eigeninduktivität (Belag) der jeweiligen Leitung und die Elemente L_{ij} die jeweilige Gegeninduktivität (Belag) zwischen den Leitungen i und j dar. Die Elemente der Hauptdiagonale der Kapazitätsmatrix sind jeweils die Summe aus dem Kapazitätsbelag der betreffenden Leitung gegen Ground (Kapazitätsbelag der Leitung ohne Verkopplung) und den Koppelkapazitätsbelägen zu allen anderen Leitungen. Die Elemente C_{ij} sind die jeweiligen Koppelkapazitätsbeläge zwischen den Leitungen i und j .



Beeinflussung des Wellenwiderstandes und der Signallaufzeit durch die elektromagnetische Verkopplung:

Odd mode: Werden zwei miteinander verkoppelte Leitungen mit gegenphasigen Signalen gleicher Amplitude angesteuert, ergibt sich mit $L_{11} = L_{22} = L_0$ und $L_{12} = L_{21} = L_m$



$$V_1 = L_0 \cdot dI_1/dt + L_m \cdot dI_2/dt, \quad V_2 = L_0 \cdot dI_2/dt + L_m \cdot dI_1/dt$$

Da die Signale gegenphasig sind ist $I_1 = -I_2$ und $V_1 = -V_2$; daraus folgt:

$$V_1 = L_0 \cdot dI_1/dt + L_m \cdot d(-I_1)/dt = (L_0 - L_m) \cdot dI_1/dt$$

$$V_2 = L_0 \cdot dI_2/dt + L_m \cdot d(-I_2)/dt = (L_0 - L_m) \cdot dI_2/dt$$

Der effektiv wirksame Induktivitätsbelag ist daher bei beiden Leitungen um L_m vermindert.

Für den Kapazitätsbelag ergibt sich mit $C_{1g} = C_{2g} = C_0$ und $C_{12} = C_m$:

$$I_1 = C_0 \cdot dV_1/dt + C_m \cdot d(V_1 - V_2)/dt = (C_0 + C_m) \cdot dV_1/dt - C_m \cdot dV_2/dt$$

$$I_2 = C_0 \cdot dV_2/dt + C_m \cdot d(V_2 - V_1)/dt = (C_0 + C_m) \cdot dV_2/dt - C_m \cdot dV_1/dt$$

Mit wiederum $I_1 = -I_2$ und $V_1 = -V_2$ ergibt sich:

$$I_1 = C_0 \cdot dV_1/dt + C_m \cdot d(V_1 - (-V_1))/dt = (C_{1g} + 2C_m) \cdot dV_1/dt$$

$$I_2 = C_0 \cdot dV_2/dt + C_m \cdot d(V_2 - (-V_2))/dt = (C_{2g} + 2C_m) \cdot dV_2/dt$$

Der effektiv wirksame Kapazitätsbelag ist daher bei beiden Leitungen um $2C_m$ erhöht.

Der Wellenwiderstand ist daher $Z_{\text{odd}} = \sqrt{(L_0 - L_m) / (C_0 + 2C_m)}$

und die Laufzeit pro Längeneinheit $\tau_{\text{odd}} = \sqrt{(L_0 - L_m) \cdot (C_0 + 2C_m)}$

Even mode: Werden beide Leitungen gleichphasig angesteuert ist $I_1 = I_2$ und $V_1 = V_2$. In die obigen Formeln eingesetzt ergeben sich in diesem Fall

der Wellenwiderstand zu $Z_{\text{even}} = \sqrt{(L_0 + L_m) / C_0}$

und die Laufzeit pro Längeneinheit zu $\tau_{\text{even}} = \sqrt{(L_0 + L_m) \cdot C_0}$